

基于左手传输线的环形微带天线*

韩文佳 孙维 冯一军

(南京大学 电子科学与工程系, 南京, 210093)

摘要: 本文提出一种基于左手/右手传输线结构的零阶谐振环形微带天线。设计了相应的天线结构, 采用电磁波全波分析得到了相位常数为零的频率点, 在该频率点, 天线的辐射性质类似于垂直放置的半波偶极子天线, 在地上半空间具有全向辐射性质, 辐射为线性极化, 其电场交叉极化值远小于同极化值。该天线具有低剖面的优点, 可与载体共形, 适合于无线通信等应用领域的低剖面全向辐射天线。

关键词: 左手材料, 合成左手/右手传输线结构, 微带天线, 零阶谐振, 低剖面

Design of Microstrip Ring Antenna Based on Left-handed Transmission Line

Abstract: A novel CRLH TL microstrip antenna with zeroth order resonance is presented in this paper. The resonance at which the phase constant is zero has been simulated by full-wave electromagnetic analysis. At this frequency, the antenna features an omnidirectional radiation pattern in the top half space and the electric field cross-polarization level is much lower than the electric field co-polarization level. The antenna has a radiation pattern similar to a vertical half-wavelength dipole. With the advantages of low-profile, compactness and omnidirectional radiation, this antenna would have potential applications in various wireless communication applications.

Key words: *left-handed material, CRLH TL, microstrip antenna, zeroth order resonance, low profile.*

一 引言

在自然界中, 常见材料的介电常数和磁导率都大于零。1968 年, 前苏联科学家 V. G. Veselago 提出了左手材料的概念[1], 左手材料的介电常数和磁导率同时为负数, 它具有和传统的正常材料(也称之为右手材料)完全不同的性质。目前, 左手材料是人工电磁材料和微波技术领域的一个研究热点。左手材料的奇特性质突破了传统材料对微波和光学器件设计的制约, 利用它可能获得更高性能的微波和光电子器件。本文探索了将其运用在天线领域, 得到有独特性质的新型天线。微带天线以其体积小, 重量轻, 低剖面, 能与载体共形, 易于制造, 成本低, 易于与有源器件和电路集成等优点, 因而得到了广泛的应用。本文基于左手传输线理论, 提出了一种基于左手/右手传输线结构的零阶谐振微带天线结构, 仿真分析得到了相位常数为零的频率点, 得到了一些独特的天线性质。

*国家 973 项目(2004CB719800) 和教育部博士点基金项目(20030284024)。Email: yjfeng@nju.edu.cn

二 理论基础

均匀介质材料可用传输线理论进行等效分析，而左手材料可以采用对偶传输线结构进行分析。2002年，A. K. Iyer 等人提出了左手材料的L-C加载传输线模型，使用二维的串联电容、并联电感加载传统传输线形成的周期结构具有左手材料的性质[2]。因此，左手材料可看成是由串联电容和并联电感组成的周期结构，而传统的右手材料可看成是由串联电感和并联电容组成的周期结构。在实际实现时，考虑到传输线本身存在的寄生电感和电容的影响，纯粹串联电容和并联电感组成的左手传输线无法实现，可考虑左手/右手混合传输线(CRLH TL)的情形[3]，此种结构可由串联电感、串联电容、并联电感和并联电容周期排列构成，如图1中所示。该结构在一定频段内具有左手传输线的性质($\omega < \omega_r$)，在另一频段内具有正常传输线的性质($\omega > \omega_r$)。在两区域边界处存在相位常数为零的谐振频率，称之为零阶谐振频率点 ω_0 。该频率处，任意长度的相移均为零。本文所设计的天线即考虑工作在该频率下，可以具有独特的特性。

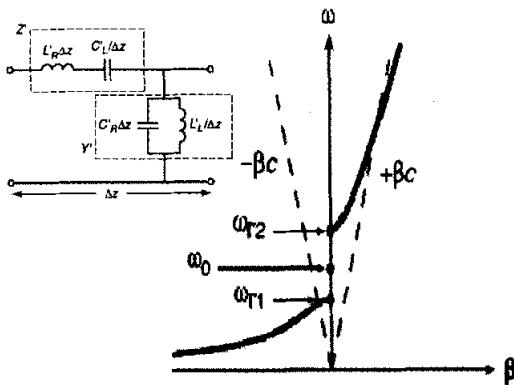


图1 合成左手/右手传输线的单位长度等效电路图和其 $\beta-\omega$ 关系图

三 天线结构设计

天线的结构和尺寸如图2所示，天线采用FR4的介质基板，厚3mm。此天线包括了四个单元，四个单元形成了一个环形，每一单元都包括了一段主传输线和一个连到接地板的金属过孔柱，两个相邻单元之间通过狭长缝隙电容耦合。在不考虑损耗的情况下，主传输线可用串联电感和并联电容等效，狭长缝隙可用串联电容等效，接地的金属过孔柱可用并联电感来等效。则整个天线可以用合成左手/右手传输线结构模型来等效。存在某一频率使相移常数 $\beta=0$ ，此时长度为 d 的传输线相移 $\phi=-\beta d=0$ 。设计的目的在于找到此频率点，此频率点处，每一个单元上相移都为零，即四个单元是保持同相的，四段的总相移因此也仍为零。普通的零度相移器长度为波长的整数倍，此天线的长度则可以明显小于一个波长。该微带天线通过缝隙耦合，在天线的一个角上采用微带线侧面馈电方式进行馈电。

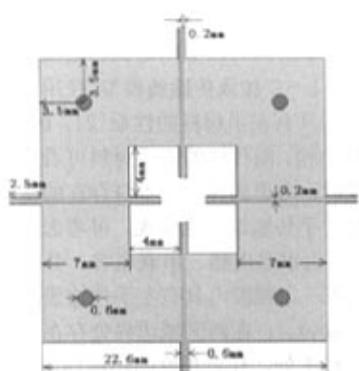
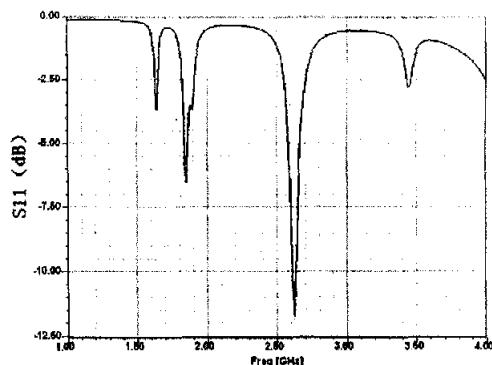
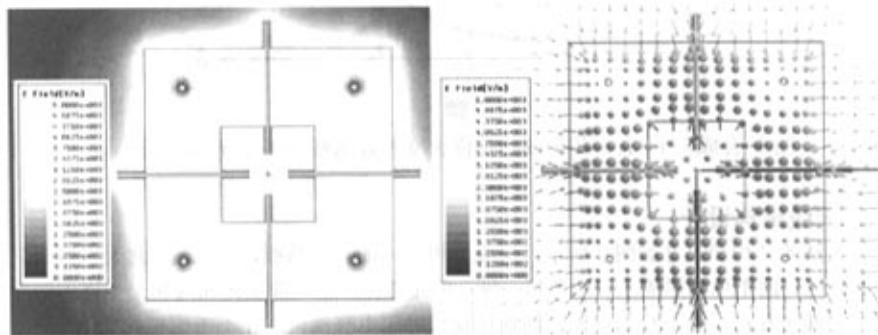


图 2 天线结构尺寸图

图 3 软件仿真的 S_{11} 图

四 结果和分析

对所设计的天线进行电磁波全波仿真分析，采用 Ansoft HFSS [5] 商用软件进行仿真分析，得到天线的反射系数，如图 3 所示。在某几个频率点处，天线产生辐射。通过观察天线的电场分布图，确定零阶谐振所在的频率点位置。在 2.62GHz 处，电场分布图如图 4 所示。该频率点处，电场分布在四个单元上完全对称，电场完全同相位，不存在相移，形成了零阶谐振状态的辐射天线。



(a) 电场幅度图

(b) 电场矢量分布图

图 4 电磁场仿真结果

天线的方向图是天线设计中的一个重要指标，通过分析天线的远场分布情况，可得到天线在 2.62GHz 频率点处的方向图，如图 5 所示。天线在地上半空间是全向辐射的，天线的辐射性质类似于一个垂直放置的半波偶极子天线，辐射为线性极化。此天线的优势在于，和得到相同辐射性能的垂直放置的半波偶极子天线相比，具有低剖面，可以和载体共形，适合于需要低剖面天线的无线应用领域。

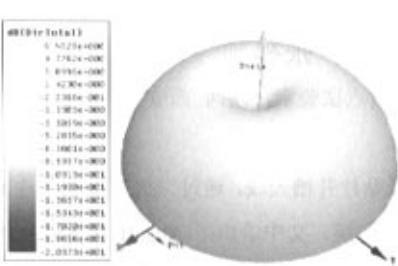


图 5 总电场方向图

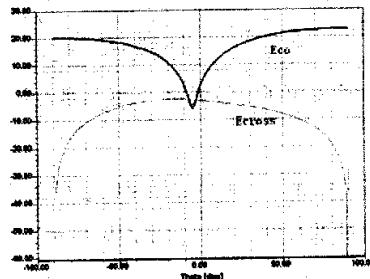


图 6 电场交叉极化值和同极化值关系

同时得到天线的电场交叉极化值和同极化值的关系如图 6, 两电场分量的最大值相差约 25dB, 抗干扰能力较好, 利于电磁波的接收。

天线的其他谐振频率点对应天线结构的不同谐振模式, 其它谐振模式均不具有零相移的特性, 没有均匀全向辐射的性质。由合成左手/右手传输线的理论可以得知, 低于零阶谐振的频率对应于左手性质的谐振, 即仿真中的 1.64GHz、1.75GHz。高于零阶谐振的频率对应于右手性质的谐振, 即仿真中的 3.44GHz 以至更高频。

同时, 分析表明, 金属过孔柱的半径大小对谐振的频率有较大的影响, 半径大小与零阶谐振频率高低基本成线性正比的关系, 半径越小, 即等效电感值越大, 对应的频率越低。当该天线的金属过孔柱的半径为 0.3mm 时, 零阶谐振的频率点在 2.62GHz 处, 与普通的工作在 2.62GHz 的微带天线相比, 该尺寸较小, 有利于实现天线的小型化。

五 结论

本文提出一种基于左手/右手传输线结构的零阶谐振微带天线, 用电磁全波分析仿真通过观察电场分布得到了相移常数为零的频率点。分析了该频率点处的电场分布, 天线方向性, 同极化和交叉极化关系, 以及天线结构对频率的影响。所设计的天线具有一些独特的性质, 可应用于需要低剖面全向辐射天线的无线应用领域。

参考文献:

- [1]. V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," Sov. Phys. Usp., Vol.10, pp.509-514, 1968.
- [2]. G.V. Eleftheriades, A.K. Iyer, P.C. Kremer, "Planar Negative Refractive Index Media Using Periodically L-C Loaded Transmission Lines," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 50, pp.1067-1070, 2002.
- [3]. A. Lai and T. Itoh, "Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials", IEEE Microwave Magazine, Vol. 5, pp.34-50, 2004.
- [4]. HFSS is a software product of Ansoft Inc. for 3D numerical simulation of electromagnetic field. <http://www.ansoft.com>

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>